

鄂东南弃耕地自然恢复过程中微生物碳动态变化^{*}

魏 斌^{1,2}, 贾国梅³, 杨 卓¹, 李俊清¹

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 辽宁省林业调查规划院, 沈阳 110122; 3. 三峡大学 化学与生命科学学院, 湖北 宜昌 443000)

摘 要: 耕地弃耕后植被次生演替过程中土壤微生物碳的大小和活性的研究结果表明, 土壤有机碳和微生物碳呈现先下降后增大的趋势; 在 75 a 的弃耕地中, 有机碳和微生物碳的含量达到天然植被的 115 % 和 82.9 %, 而且有机碳与微生物碳呈现显著正相关 ($P < 0.05$); 微生物代谢熵与微生物碳呈现极显著负相关 ($P < 0.01$), 呈现先上升后下降的趋势; 在次生演替初期, 土壤有效基质逐渐降低, 而在演替后期有效基质不断增加, 有益于土壤有机碳和微生物碳的提高, 有利于土壤肥力的提高。

关键词: 微生物碳; 有机碳; 弃耕; 次生演替

中图分类号: S154.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0159-03

Dynamic Change of Microbial Carbon in the Process of Spontaneous Recovery of the Abandonment of Farmland in Southeast Hubei

WEI Bin^{1,2}, JIA Guo-mei³, YANG Zhuo¹, LI J un-qing¹

(1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Liaoning Provincial Institute of Forestry Research and Planing, Shenyang 110122, China; 3. College of Chemistry and Life Science, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443000, China)

Abstract: In the process of vegetation secondary succession after abandoned farmland, soil organic carbon and microbial carbon both showed the trend of first drop then rising. The soil organic carbon and microbial carbon content was 115 % and 82.9 % of nature forest after 75-year abandoned, both of them had a positive relationship ($P < 0.05$), moreover, microbial metabolism entropy and microbial carbon showed significant negative correlation ($P < 0.01$) which showed an increase after the first downward trend. In the early stage of secondary succession, the content of the effective matrix was decreased, then increased in the late succession, which helped to increase the content of soil organic carbon, microbial carbon and soil fertility.

Key words: microbial carbon; soil organic carbon; abandoned farmland; secondary succession

土壤微生物量是森林生态系统的一个重要成分, 负责调节营养循环, 是较易分解的植物有效养分^[1-2]。代谢熵 ($q\text{CO}_2$) (基础呼吸和微生物碳的比值) 被看作是评价土壤微生物利用基质效率高低的指标, 并可以用来评价土壤退化发育的过程^[3]。越来越多的研究表明, 土壤微生物特性和生物化学特性在土壤生态系统胁迫或者恢复的早期可以作为敏感指标来反映其状况^[4]。

土壤有机碳是微生物生长的有效基质, 很多研

究表明, 在次生演替中, 有机碳含量逐渐增大, 土壤肥力得到改善^[5-6]。因此, 本研究的目的是农田弃耕后植被次生演替过程中土壤微生物量的大小和活性的变化动态, 为耕地弃耕后植被自然演替过程中土壤肥力的变化提供一定的理论依据。

1 方法和材料

1.1 研究区概况

研究区地处大别山余脉的湖北省浠水县清泉

^{*} 收稿日期: 2008-05-15

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑资助项目 (2006BAD03A16)

作者简介: 魏斌 (1984 -), 男, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 恢复生态学。E-mail: tid_louis@163.com。

通信作者: 李俊清 (1957 -), 男, 吉林扶余人, 博士, 教授, 博导, 主要研究方向: 生物多样性及植被恢复。E-mail: lijq@bjfu.edu.cn。

镇,年平均气温 16.9℃,年平均降雨量 1 350 mm,70 %的降雨集中在 4 - 8 月;为低山丘陵地区地貌,林地土质多为麻骨土、山地黄沙土,土壤有机质含量 0.69 % ~ 1.264 %,含 N 量 0.096 %,含 P 量 0.072 %,含 K 量约 1.441 %,pH 值 5.5 ~ 6.5^[7]。该地区主要的森林植被类型包括马尾松林、马尾松落叶阔叶混交林,枫香林和以枫香及各种落叶栎类为主的杂灌木斑块镶嵌分布其中^[8]。

1.2 研究方法

试验地有两种不同处理:6 个弃耕地(1 a、4 a、7 a、13 a、23 a、75 a 的弃耕地)、一个枫香天然林(MF)的样地。枫香天然林是人为扰动较少的次生林,样地面积 400 m²。弃耕地采用以空间代替时间的序列,样地面积 200 m²。在 2008 年 5 月,分别在每块样地内按对角线随机取 0 - 20 cm 的土样 5 个,分别充分混匀成一个样,一部分土样迅速拣去枯枝落叶、根系后,分别过 2 mm 筛,调节其含水量为田间持水量的 50 %,置于在黑暗中的塑料桶中预先培养两周用于微生物量分析。另一部分土样风干用于土壤养分测定。有机碳采用外加热重铬酸钾氧化法;微生物碳用熏蒸浸提法,用 0.5M K₂SO₄ 浸提不含乙醇的氯仿熏蒸和未熏蒸的土壤,在 25℃ 的振荡机振荡 1 h 后过滤,被浸提出的有机碳用重铬酸钾氧化法测定^[9];微生物碳的计算公式是:

微生物碳 = $\frac{\text{熏蒸浸提的有机碳} - \text{未熏蒸浸提的有机碳}}{0.38}$

基础呼吸的测定用密闭静置培养测 CO₂ 法:放置处理好的土样 20 g 与 250 ml 的广口瓶中,用蒸馏水调节土壤含水量的 60 %,内放装有 10 ml 0.1 M NaOH 的小塑料瓶,吸收释放出的 CO₂,在 (28 ± 2)℃ 下密闭培养 40 d,间隔 5 d 更换 NaOH,用 0.1 M HCl 滴定。每个样品设 3 个重复和空白对照。用 μg CO₂/ (Cg soil · d) 表示基础土壤呼吸活性即代谢熵:

代谢熵 = $\frac{\text{基础呼吸}}{\text{微生物碳}}$

各个样地所测的土壤特性值为 3 次重复的平均值。所用数据采用 SPSS16 软件中的单因素方差分析 (Tukey's - b) 对各个样本进行显著性检验。用 Pearson 相关性分析在耕地弃耕后植被自然演替过程中所测定的土壤特性的显著相关性。

2 结果与讨论

2.1 土壤有机碳的变化

从图 1 中可以看出,土壤表层的有机碳含量是

75 a 弃耕地最高,而 23 a 弃耕地最低,两者相差近 4 倍。单因素方差分析表明,各弃耕年代与枫香成熟林之间差异显著。在弃耕地植被演替过程中,土壤有机质的含量总体上呈逐渐降低的趋势,并在 23 a 时达到最低值,此后随着演替的进行,土壤有机质含量逐渐增加,在到达 75 a 时,土壤有机质含量已经超越其他弃耕阶段的样地,甚至超过枫香成熟林的含量,是其 1.15 倍。许多研究发现,农田弃耕后随着植被演替,土壤有机碳和全氮含量逐渐提高^[5,10-12],且有机碳含量的提高仅仅限于土壤表层^[13]。本研究发现,在弃耕地演替的过程中,土壤有机碳的变化与 Odum^[14] 和 Juo 等^[11] 的研究结果相似,随着演替的进行,有机碳含量先降低,后增大,但与之不同的是 Odum 和 Juo 等的研究发现有机碳含量在弃耕前 3 a 逐渐降低,然后逐渐增大,而本研究的弃耕演替在进行到 23 a 时降到最低。这可能是在演替过程中,地上植物生长迅速,地上生物量不断增加,大量消耗了土壤中的碳元素、氮元素,因此造成土壤中有机碳含量的下降。

表 1 土壤特性的相关性分析

土壤特性	有机碳	微生物碳	代谢熵
微生物碳	0.861 *		
代谢熵	- 0.656	- 0.891 **	
微生物熵	0.124	0.571	- 0.793 *

* 相关性在 0.01 水平上显著, * 相关性在 0.05 水平上显著。

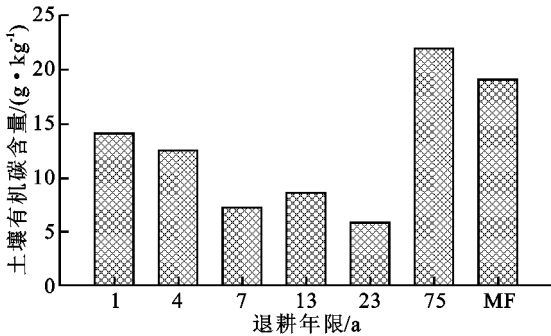


图 1 不同弃耕年代土壤有机碳的变化

2.2 土壤微生物碳的变化

从图 2 可以看出,微生物碳含量是枫香天然林最高(0.862 g/kg),弃耕 23 a 的最低(0.126 g/kg)。随着弃耕地植被的演替,土壤微生物碳的变化呈现先下降后增高的趋势,到 23 a 的弃耕地,土壤微生物碳的含量达到 75 a 弃耕含量的 17.6 %,枫香成熟林的 14.6 %。单因素方差分析表明,各个样地之间土壤微生物碳的含量呈显著差异,说明随着弃耕年代的增加,在演替的初期,土壤微生物碳的含量不断的被消耗,在弃耕 23 a 时降到最小,此后,土壤微生物

物碳的含量不断的增加,经过 52 a 的积累,在弃耕 75 a 时 (0.715 g/kg) 达到枫香天然林的 82.9%。土壤微生物碳通常被作为微生物对影响土壤有机质周转的土壤管理措施响应的指标^[15]。本研究中,土壤微生物碳的变化趋势与土壤有机质的变化相同,在演替初期含量逐渐降低,并在 23 a 达到最小值,在弃耕 23~75 a 的过程中,土壤微生物碳的含量逐渐增加。植被演替过程中微生物量的提高代表了土壤碳氮的一个重要的蓄积,也是土壤肥力恢复的一个重要标志。

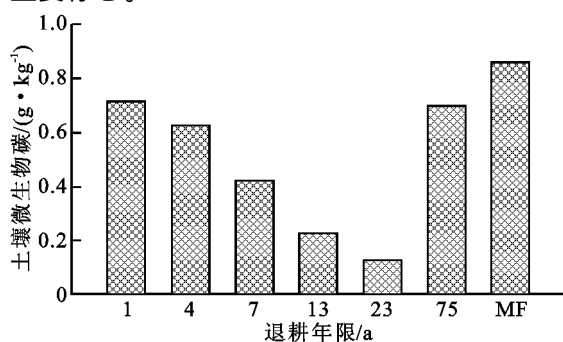


图 2 不同弃耕年代土壤微生物碳的变化

2.3 土壤微生物熵的变化

微生物熵,即微生物碳与有机碳的比值,是土壤有机质对微生物有效的一个敏感指标^[16]。本研究中土壤微生物熵随着演替的进展,整体上呈下降的趋势。在有的研究中,原生植被的微生物熵大于各弃耕阶段的值,说明原生植被多样化的有机基质维持了更多相互依赖的食物网,由此维持更多的单位土壤有机碳的微生物碳^[16]。但在本研究中,枫香天然林土壤的微生物熵比各种演替初期各阶段弃耕地低,而比演替后期各阶段弃耕地高,这是因为在枫香成熟林中,有机质的含量显著大于各阶段弃耕地,而微生物碳的含量与各弃耕地的含量相差较小,因此微生物熵的值略低于演替初期的弃耕地。

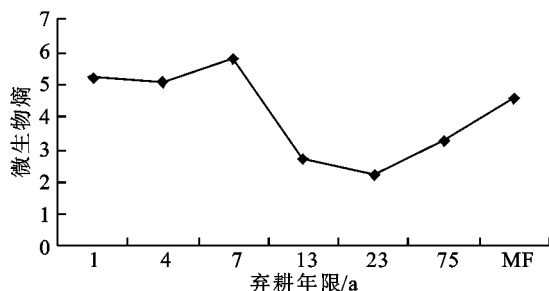


图 3 不同弃耕年代土壤微生物熵的变化

2.4 土壤微生物代谢熵的变化

代谢熵($q\text{CO}_2$)起源于 Odum 的生态系统演替理论^[14],在生态系统的发育过程中,生物体逐渐利用更多的能量有利于微生物量的积累。Schipper^[17]

研究了 5 个演替系列,他们发现两个地方的代谢熵在演替过程中逐渐降低,而一个地方代谢熵随着演替反而提高,还有两个地方随着演替的推移,代谢熵没有明显的变化趋势。本研究中,表土的代谢熵在植被演替前期升高,也许是由于耕地弃耕后土壤微生物活性比较低,利用基质的效率比较低,随着演替的进展,代谢熵快速提高,微生物活性降低,在演替后期,随着地表枯落物的增多,代谢熵又逐渐降低,微生物活性逐渐提高。所以说虽然代谢熵毫无疑问反映了微生物的效率,但是用代谢熵来反映生态系统的发育是具有一定局限^[18]。

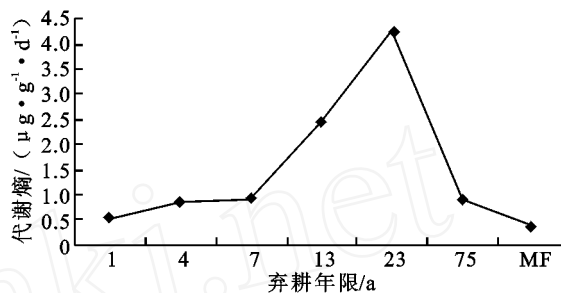


图 4 不同弃耕年代土壤微生物代谢熵的变化

3 结论

在耕地弃耕后植被的演替过程中,土壤表土有机碳和微生物碳的含量呈现先降低后升高的趋势;微生物代谢熵与微生物碳呈现极显著负相关,并随着演替的进展,呈现先上升后下降的趋势;在次生演替初期,土壤有效基质逐渐降低,而在演替后期有效基质不断增加,有益于土壤有机碳和微生物碳的提高,有利于土壤肥力的提高。

参考文献:

- [1] Jenkinson D, Ladd L N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover[C]// Paul E A, Ladd J N. Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekker, 1981: 415-471.
- [2] Singh J S, Raghubanshi A S, Singh R S, et al. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna[J]. Nature, 1989, 338: 499-500.
- [3] Insam H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime[J]. Soil Biol. Biochem., 1990, 22: 525-532.
- [4] Dick R P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health[C]// Pankhurst C E, Doube B M, Gupta V V S R. Biological Indicators of Soil Health. Walling - ford: CAB International, 1997.
- [5] Odum E P. Organic production and turnover in old field succession[J]. Ecology, 1960, 4: 34-49.

(下转第 166 页)

间位置上的差异性分布只是在作物生长季节有助于作物避盐,但是一旦经过下茬耕作,盐分重新均匀分布,将逐渐使表层土壤含盐量上升。滴灌免去了田间渠道系统,土壤连片种植,客观上有助于地下水位上升,但是这对防止土壤次生盐渍化十分不利。因此,定期大水漫灌洗盐仍是土壤脱盐的必要手段。

5 结 语

膜下滴灌条件下的土壤水盐运移非常复杂,并受多种因素的影响。国内外学者虽然已进行了大量的研究,但是一些理论和方法仅限于特定的条件,缺乏广泛适用性,特别在干旱区盐分迁移研究方面较为薄弱,还不能用以指导生产实践。因此,为总结生产经验和更好地推广应用膜下滴灌技术,有必要在已有研究成果和生产经验的基础上,对新疆棉花膜下滴灌条件下的土壤盐分运移进行研究,这有利于滴灌系统的设计和灌溉制度的制定,为合理地确定土壤次生盐碱化防治措施和田间水分管理提供科学依据,并对于膜下滴灌技术在新疆棉花大田中进一步的推广和应用,对于新疆经济的可持续发展及生态环境的维护都具有重大意义。

参考文献:

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [2] 顾峰雪, 施庆东, 张远东, 等. 准噶尔盆地南缘阜康绿洲水盐空间特征的初步分析[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2002(1): 117-122.
- [3] 张琼. 棉花膜下滴灌条件下灌水频率对土壤水盐分布和棉花生长的影响[J]. 水利学报, 2004(9): 123-126.
- [4] 吕殿青, 王全九, 王文焰, 等. 膜下滴灌土壤盐分特性及影响因素的初步研究[J]. 灌溉排水, 2001(3): 28-31.
- [5] 李毅, 王文焰, 王全九. 论膜下滴灌技术在干旱 - 半干旱地区节水抑盐灌溉中的应用[J]. 灌溉排水, 2001(6): 42-46.
- [6] Simon M, Garcia I. Physico - chemical properties of the soil saturation extracts: estimation from electrical conductivity[J]. Geoderma, 1999, 90(1): 99-109.
- [7] 毛任钊, 松本聪. 盐渍土盐分指标及其与化学组成的关系[J]. 土壤, 1997, 29(6): 326-330.
- [8] 刘广明, 杨劲松, 姚荣江. 影响土壤浸提液电导率的盐分化学性质要素及其强度研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 247-252.
- [9] 王家平, 吕新, 孙学, 等. 膜下滴灌农田盐分运移情况调查与分析[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(4): 682-686.
- [6] Landgraf D. Dynamics of microbial biomass in Cambisols under a three year succession in North Eastern Saxony[J]. J. Plant Nutr. Soil Sci., 2001, 164: 665-671.
- [7] 湖北省浠水县志编纂委员会. 浠水县志[M]. 1992: 232.
- [8] 王映明. 湖北植被区划(上)[J]. 武汉植物学研究, 1985, 3(1): 61-73.
- [9] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1987, 19: 703-707.
- [10] 贾松伟, 贺秀斌, 陈云明. 黄土丘陵区退耕撂荒对土壤有机碳的积累及其活性的影响[M]. 水土保持通报, 2004, 18(3): 78-84.
- [11] Juo A S R, Lal R. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an alfisol in the tropics[J]. Plant Soil, 1977, 47: 567-584.
- [12] Knops J M H, Tilman D. Dynamics of soil nitrogen accumulation for 61 years after agricultural abandonment[J]. Ecology, 2000, 81(1): 88-98.
- [13] Landgraf D. Dynamics of microbial biomass in Cambisols under a three year succession in North Eastern Saxony[J]. J. Plant Nutr. Soil Sci., 2001, 164: 665-671.
- [14] Odum E P. Trends expected in stressed ecosystem[J]. Biosciences, 1985, 35: 419-422.
- [15] Nannipieri P, Greco S, Ceccanti B. Ecological significance of the biological activity in soil[C]// Bollag J M, Stotzky G. Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekker, 1990: 293-355.
- [16] Anderson T H, Domsch K H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the microbial biomass of forest soils[J]. Soil Biol Biochem., 1993, 25: 393-395.
- [17] Schipper L A, Degens B P, Sparling G P, et al. Changes in microbial heterotrophic diversity along five plant successional sequences[J]. Soil Biol Biochem., 2001, 33: 2093-2103.
- [18] Dilly O, Munch J C. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils[J]. Biol. Fertil. Soils, 1998, 27: 374-379.

(上接第 161 页)